

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÔ HÌNH ROBOT 6 BẬC TỰ DO ỨNG DỤNG TRONG GIẢNG DẠY

Vương Gia Hải, Lê Thị Lan
Khoa Công nghệ và Kỹ thuật
Email: haivg@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/9/2024

Ngày PB đánh giá: 24/10/2024

Ngày duyệt đăng: 13/01/2025

Tóm tắt: Ngày nay, robot công nghiệp đã và đang trở thành một phần vô cùng quan trọng trong các hệ thống sản xuất tự động như: Dây chuyền chế tạo và lắp ráp xe ô tô, hệ thống FMS, hệ thống sản xuất và lắp ráp các thiết bị điện tử,... Robot công nghiệp hiện nay có nhiều loại có cấu trúc khác nhau, trong công nghiệp thường sử dụng robot có từ 2 cho tới 6 bậc tự do, số bậc tự do càng nhiều thì sự linh hoạt và tính ứng dụng của robot càng cao. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tiến hành thiết kế mô hình từng bộ phận và lắp ráp tổng thể robot 6 bậc tự do bằng phần mềm Inventor. Căn cứ vào mô hình thiết kế, yêu cầu đặt ra đã tiến hành lựa chọn động cơ, vi điều khiển, các linh kiện và chế tạo các kết cấu robot bằng công nghệ in 3D. Kết quả thử nghiệm cho thấy robot hoạt động tốt theo yêu cầu thiết kế đề ra.

Từ khóa: Robot công nghiệp, arduino, bậc tự do, hệ thống tự động, thiết kế.

A STUDY OF DESIGNING AND MANUFACTURING 6 DEGREE OF FREEDOM ROBOT MODEL USING IN TEACHING

Abstract: Nowadays, industrial robots have become an extremely important part of automated production systems, such as automobile manufacturing and assembly lines, Flexible Manufacturing Systems (FMS), and the production and assembly of electronic devices. Currently, industrial robots come in various types with different structures, typically having between 2 to 6 degrees of freedom. The more degrees of freedom a robot has, the greater its flexibility and application potential. In this paper, the authors have designed the model for each component and assembled a 6-degree-of-freedom robot using Inventor software. Based on the designed model and set requirements, the selection of motors, microcontrollers, components, and the manufacturing of robot structures using 3D printing technology was carried out. Experimental results have shown that the robot operates well according to the design requirements.

Keywords: Arduino, degrees of freedom, automation systems, design, robotics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, trước sự phát triển ngày càng mạnh mẽ của hầu hết các ngành khoa học đã thúc đẩy cho các ngành công nghiệp cũng phát triển mạnh mẽ theo. Việc áp dụng các tiến bộ của khoa học công nghệ vào sản xuất đã và đang là xu thế phát triển và ngày càng không thể thiếu trong các doanh nghiệp để giúp tăng năng suất, chất lượng và hạ giá thành sản phẩm.

Cùng với sự phát triển của các ngành kỹ thuật công nghệ, các dây chuyền sản xuất tự động đã và đang được ứng dụng rộng rãi, đem lại hiệu quả rõ rệt cho các doanh nghiệp sản xuất. Và robot công nghiệp chính là một mắt xích quan trọng trong các hệ thống tự động đó, do đó công nghệ chế tạo robot cũng phát triển nhanh chóng. Với những ưu điểm vượt trội của robot công nghiệp như: độ chính xác, chịu được môi trường làm việc khắc nghiệt, độc hại, sự bền bỉ,... và dần dần robot trở thành một mắt xích không thể thiếu trong các hệ thống sản xuất và gia công tự động.

Hiện nay, trong chương trình đào tạo ngành Kỹ thuật cơ khí và Kỹ thuật cơ điện tử của trường Đại học Hải Phòng [1] việc cần có những mô hình, thiết bị hỗ trợ việc học tập giúp sinh viên có thêm những kiến thức thực tế thông qua việc thực hành là hết sức cần thiết. Tuy

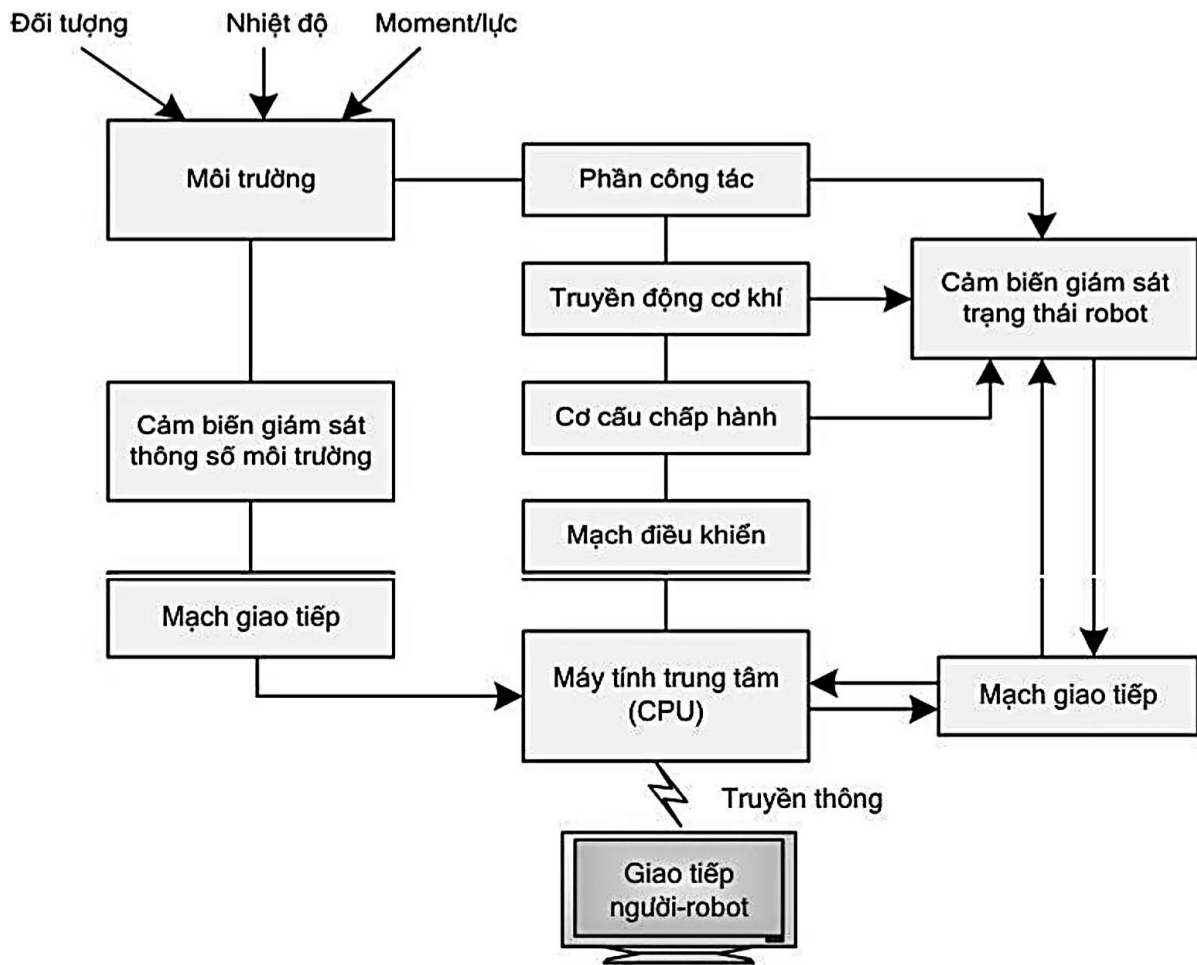
nhien, các thiết bị như các Robot công nghiệp, hệ thống sản xuất tự động,... thực tế thường có giá thành cao, khó trang bị được cho các chương trình đào tạo. Và việc có một mô hình robot công nghiệp hỗ trợ việc học tập và nghiên cứu là hết sức cần thiết cho giảng viên và sinh viên. Mô hình robot công nghiệp 6 bậc tự do có thể ứng dụng trong giảng dạy nhiều học phần trong chương trình đào tạo như: Học phần Robot công nghiệp, Hệ thống cơ điện tử, Hệ thống sản xuất linh hoạt,

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Một robot công nghiệp có những thành phần cơ bản như Hình 1, đây là sơ đồ cấu trúc chung của một robot công nghiệp. Ngoài kết cấu khung và thân robot, có một vài thành phần quan trọng của robot như:

Tay máy (manipulator) là cơ cấu cơ khí gồm các khâu, khớp. Chúng hình thành cánh tay để tạo các chuyển động cơ bản, cổ tay tạo nên sự khéo léo, linh hoạt và bàn tay (end effector) để trực tiếp hoàn thành các thao tác trên đối tượng.

Cơ cấu chấp hành: Cơ cấu chấp hành là động cơ cho phép robot có thể di chuyển. Chúng có thể là động cơ thủy lực, khí nén, điện, áp điện, polymer dẫn điện thậm chí là tế bào sinh vật phụ thuộc vào công suất năng lượng yêu cầu và ứng dụng.



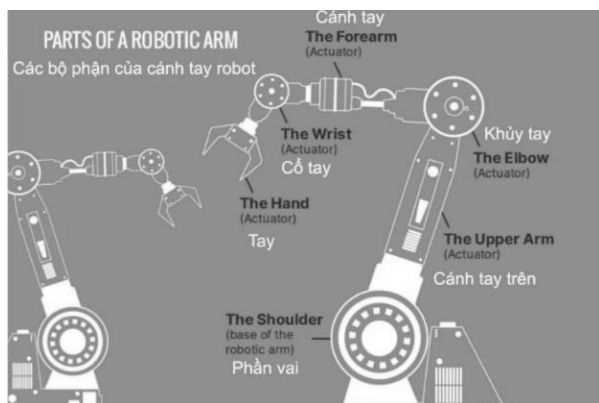
Hình 1. Sơ đồ cấu trúc chung của Robot công nghiệp [2]

Cảm biến: cảm biến là thiết bị cho phép đo các thông số môi trường cũng như trạng thái bên trong robot như khoảng cách, tốc độ, gia tốc, hướng, chiều, nhiệt độ, áp suất, mức độ ánh sáng, mức độ âm thanh, sự hiện diện của vật, sự có mặt hoặc không có mặt của chất hoặc các thông số tác động đến vận hành của robot và thực hiện công việc của nó.

Hệ thống điều khiển (controller) và giao diện người dùng hiện nay thường là máy tính để giám sát và điều khiển hoạt động của Robot.

Tay máy là phần cơ sở, quyết định khả năng làm việc của robot công

nh nghiệp. Đó là thiết bị cơ khí đảm bảo cho Robot khả năng chuyển động trong không gian và khả năng làm việc như nâng hạ vật, lắp ráp,...Ban đầu, việc thiết kế và chế tạo tay máy là phỏng tác cấu tạo và chức năng của tay người. Về sau, đây không còn là điều bắt buộc nữa. Tay máy hiện nay rất đa dạng và có nhiều loại có dáng vẻ khác rất xa với tay người. Tuy nhiên, trong kỹ thuật Robot người ta vẫn dùng các thuật ngữ quen thuộc như: vai, cánh tay, cổ tay, bàn tay và các khớp... để chỉ tay máy và các bộ phận của nó như trong Hình 2.



Hình 2. Các thành phần cơ bản của một tay máy [3]

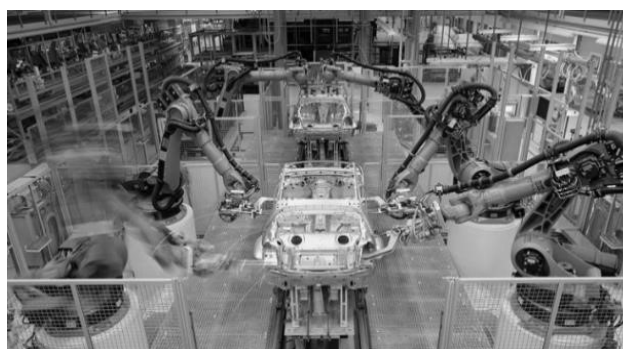
Trong quá trình thiết kế và sử dụng robot, chúng ta cần quan tâm đến các thông số có ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của chúng như: trọng lượng vật nâng, độ cứng vững của hệ thống công nghệ, khả

năng chịu nhiệt, loại bàn kẹp và lực kẹp,...Tầm với hay trường công tác của robot phụ thuộc vào: kích thước và hình dạng vùng mà phần công tác có thể với tới. Sự linh hoạt, nghĩa là khả năng định vị và định hướng phần công tác trong vùng làm việc một cách chính xác theo yêu cầu công việc. Thông số này liên quan đến số bậc tự do và số khớp động của robot.

Căn cứ vào mục đích sử dụng robot để thực hiện các công việc khác nhau mà robot được chia ra nhiều loại, một số Robot phổ biến là: Robot gấp/xếp sản phẩm, Robot hàn, Robot sơn, Robot lắp ráp.



Hình 3. Robot bốc xếp sản phẩm[4] và robot hàn Kuka [5]



Hình 4. Robot Kuka ứng dụng trong sơn sản phẩm và lắp ráp ô tô [5]

Như đã trình bày ở trên, chúng ta nhận thấy vai trò của robot ứng dụng trong công nghiệp là vô cùng quan trọng với sự phát triển của nền công nghiệp hiện tại và trong tương lai. Tuy nhiên với Việt Nam chúng ta thì việc làm chủ công nghệ để có thể chế tạo và ứng dụng robot vào sản xuất còn hạn chế, giá thành nhập khẩu thì còn khá cao do đó các trường đại học nói chung và đại học Hải Phòng nói riêng để có được một robot hiện đại làm tài liệu học tập cho sinh viên là điều khá khó ở thời điểm hiện tại. Do đó khi nghiên cứu được thực hiện thành công sẽ cung cấp một học liệu rất cần thiết cho các giảng viên và sinh viên nghiên cứu và học tập, giúp sinh viên có nhiều cơ hội hơn tiếp cận với thực tế sản xuất hiện nay.

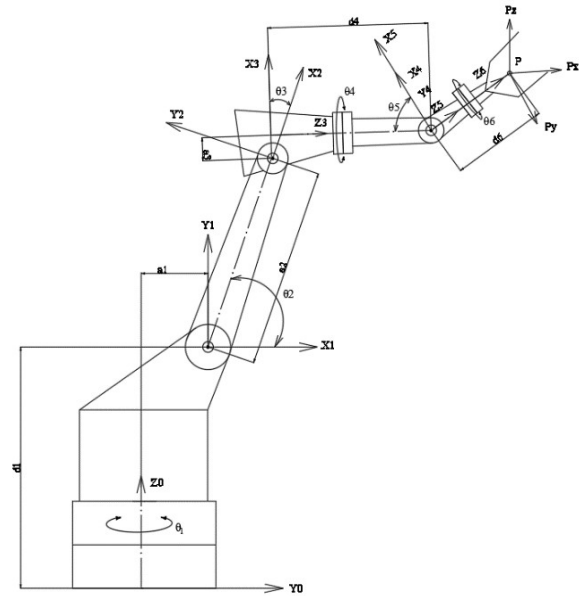
Trong bài báo này, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Nhóm đã nghiên cứu một số công trình đã công bố giới thiệu về cơ sở và phương pháp thiết kế robot công nghiệp, sau đó sử dụng công cụ thiết kế 3D thiết kế các chi tiết và lắp ráp mô phỏng hoàn chỉnh robot. Tiến hành thực nghiệm chế tạo robot theo thiết kế và chạy thử mô hình robot thực hiện các chuyển động của robot.

3. THIẾT KẾ KẾT CẤU ROBOT 6 BẬC TỰ DO

3.1. Phương án thiết kế và bộ thông số D-H

Với mục đích thiết kế robot có 6 bậc tự do (6 khớp động) đảm bảo tính linh hoạt và có thể đáp ứng được nhiều môi

trường làm việc khác nhau. Mô hình robot có thể gắp một vật có dạng hình trụ tròn xoay, hình lập phương hoặc hình hộp chữ nhật có kích thước cạnh kẹp lớn nhất không quá 90mm và khối lượng nhỏ hơn 100g. Phương án robot thiết kế được lựa chọn như trong Hình 5.



Hình 5. Cấu trúc động học robot 6 bậc tự do

Bảng thông số D-H của robot 6 bậc tự do được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Bộ thông số D-H của robot 6 bậc tự do

Khâu	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	a_1	90°
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	a_3	90°
4	θ_4	d_4	0	-90°
5	θ_5	0	0	90°
6	θ_6	d_6	0	0

Căn cứ vào bảng thông số D-H ta xác định các ma trận quan hệ A_i của các khâu, sau đó xác định phương trình động học thuận robot theo công thức sau:

$$P = {}^0A_6 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & d_x \\ n_y & s_y & a_y & d_y \\ n_z & s_z & a_z & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Từ đó ta xác định được hệ phương trình động học thuận của robot như sau:

$$n_x = C_1[C_{23}(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_{23}S_5C_6] + S_1(S_4C_5C_6 + C_4S_6)$$

$$n_y = S_1[C_{23}(C_4C_5C_6 - S_4S_6) - S_{23}S_5C_6] - C_1(S_4C_5C_6 + C_4S_6)$$

$$n_z = S_{23}(C_4C_5C_6 - S_4S_6) + C_{23}S_5C_6$$

$$s_x = C_1[-C_{23}(C_4C_5C_6 + S_4S_6) + S_{23}S_5C_6] + S_1(-S_4C_5S_6 + C_4C_6)$$

$$s_y = S_1[-C_{23}(C_4C_5C_6 + S_4S_6) + S_{23}S_5C_6] - C_1(-S_4C_5S_6 + C_4C_6)$$

$$s_z = -S_{23}(C_4C_5C_6 + S_4S_6) - C_{23}S_5S_6$$

$$a_x = C_1(C_{23}C_4S_5 + S_{23}C_5) + S_1S_4S_5$$

$$a_y = S_1(C_{23}C_4S_5 + S_{23}C_5) - C_1S_4S_5$$

$$a_z = S_{23}C_4S_5 + C_{23}C_5$$

$$d_x = C_1[a_1 + a_2C_2 + a_3C_{23} + d_4S_{23} + d_6(C_{23}C_4S_5 + S_{23}C_5)] + d_6S_1S_4S_5$$

$$d_y = S_1[a_1 + a_2C_2 + a_3C_{23} + d_4S_{23} + d_6(C_{23}C_4S_5 + S_{23}C_5)] - d_6S_1S_4S_5$$

$$d_z = a_2S_2 + a_3S_{23} + d_4C_{23} + d_6(S_{23}C_4S_5 - C_{23}C_5).$$

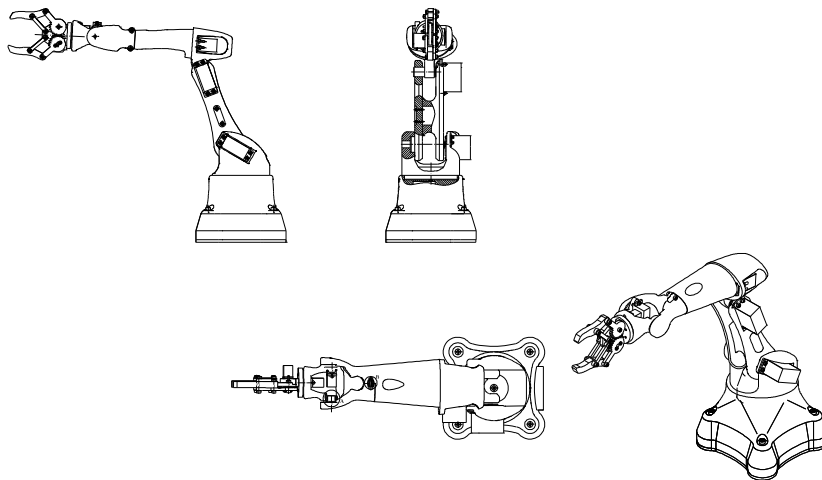
$$\text{Vị trí tác động điểm cuối: } \begin{cases} dx = P_x \\ dy = P_y \\ dz = P_z \end{cases}$$

Với $C = \text{Cos}\theta$; $S = \text{Sin}\theta$.

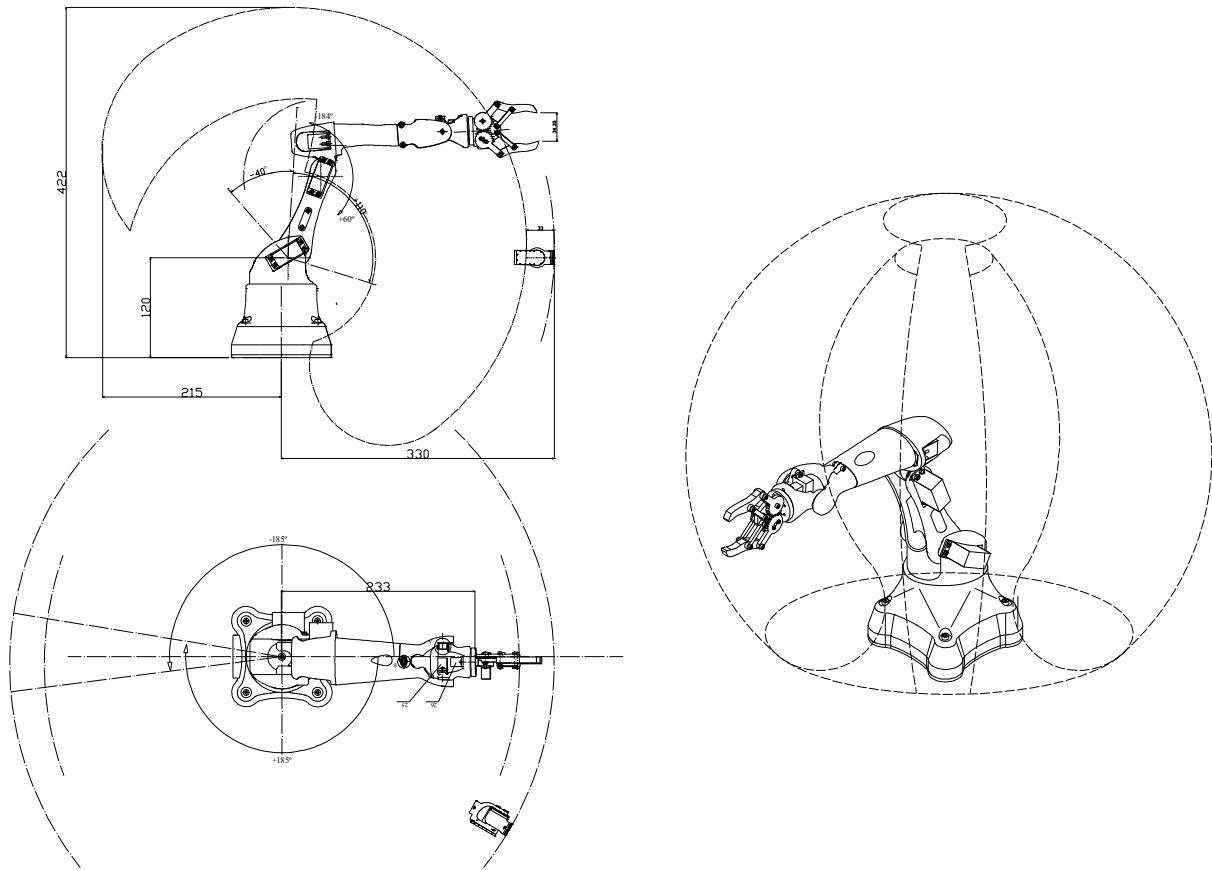
3.2. Thiết kế mô hình robot 6 bậc tự do bằng phần mềm CAD

Robot gồm 6 khớp động quay được mô phỏng theo thiết kế robot KUKA. Robot được hình thành bởi 6 khâu quay,

các khâu được kết nối truyền động với nhau qua hệ thống động cơ servo, mỗi khớp quay sẽ là một bậc tự do của robot. Thiết kế tổng thể của robot được trình bày trong Hình 6. Trường công tác của robot được trình bày trong Hình 7.



Hình 6. Thiết kế tổng thể robot 6 bậc tự do



Hình 7. Trường công tác của mô hình robot

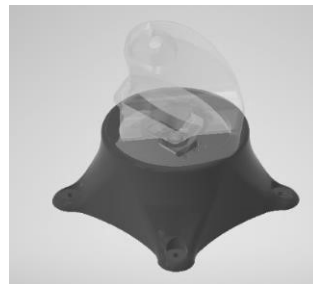
Thiết kế đế robot: Đây là bộ phận để lắp toàn bộ phần thân robot lên và liên kết giữa robot với bàn máy hoặc giá cố định.



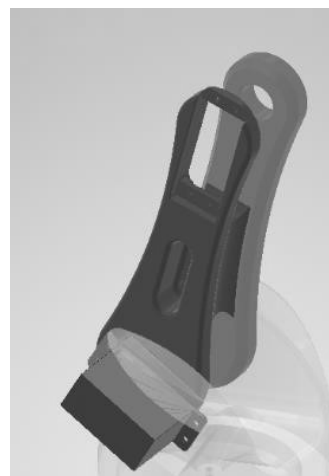
Hình 8. Đế robot được thiết kế bằng phần mềm Inventor

Thiết kế các khâu của robot:

Khâu 1: Sử dụng bộ truyền động bánh răng của hộp giảm tốc của động cơ servo.



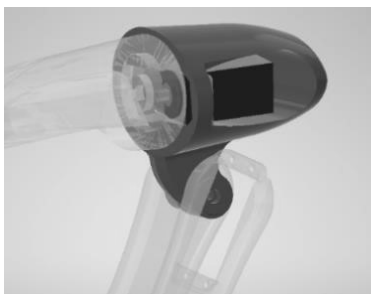
Hình 9. Khâu 1



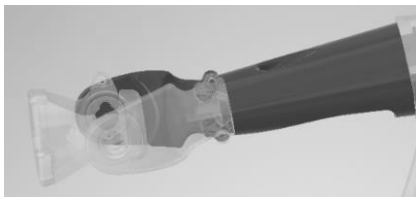
Hình 10. Khâu 2

Khâu 2 sử dụng bộ truyền động bánh răng của hộp giảm tốc của động cơ servo. Phía sau có hệ lò xo trợ lực giúp hỗ trợ quá trình hoạt động của khâu 2.

Khâu 3 được thiết kế theo dạng hình hộp ở giữa có lỗ hình trụ để lắp trực khâu 4. Cả khâu 3 và khâu 4 đều sử dụng bộ truyền động bánh răng của hộp giảm tốc của động cơ servo. Động cơ khâu 4 gồm 2 phần để dễ dàng tháo lắp khâu 5.



Hình 11. Khâu 3

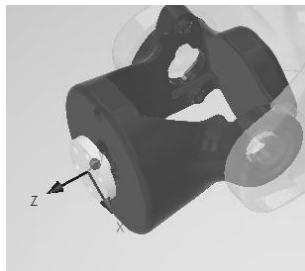


Hình 12. Khâu 4

Khâu 5 và 6 được thiết kế như trong Hình 14 và Hình 13.



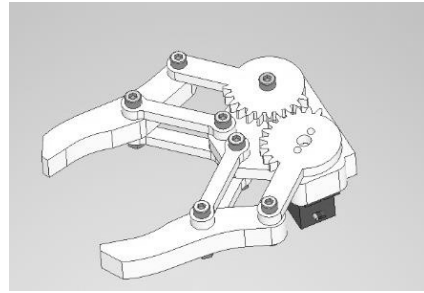
Hình 14. Khâu 5



Hình 13. Khâu 6

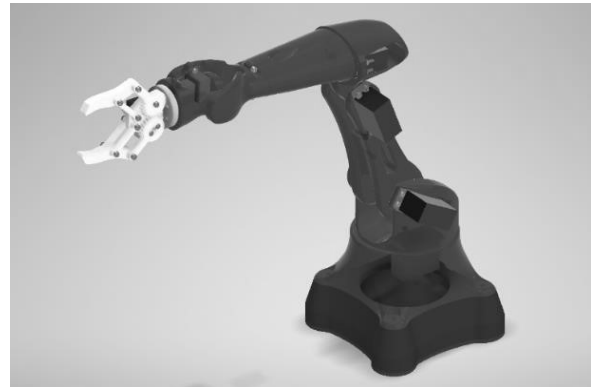
Thiết kế tay kẹp: Tay kẹp được thiết kế trên inverter, thiết kế tay kẹp cần cân xứng giúp tay kẹp robot cứng chắc dễ dàng các thao tác gấp sản phẩm,

có độ ổn định và không bị trượt trong quá trình thao tác.



Hình 15. Tay kẹp

Sau khi thiết kế từng khâu, tiến hành lắp ghép các khâu lại với nhau ta được bản thiết kế tổng thể của robot như trong Hình 16.



Hình 16. Thiết kế 3D tổng thể robot 6 bậc tự do

3.3 Chế tạo mô hình robot 6 bậc tự do

Lựa chọn vật liệu: Cánh tay robot 6 bậc của nhóm tác giả sử dụng phương pháp in 3D với nhựa ABS để in các chi tiết cho cánh tay robot. Với công nghệ in 3D ta có thể chế tạo được hầu hết các loại mẫu thiết kế, công nghệ này hoàn toàn không bị hạn chế bởi độ phức tạp của bề mặt hay độ khó về cấu trúc thiết kế. Chỉ cần một lần thao tác là có thể in ra được toàn bộ sản phẩm dù có cấu trúc phức tạp đến đâu.

Có 2 loại nhựa phổ biến được sử dụng rộng rãi trong in 3D vì đặc tính và giá thành hợp lý là nhựa ABS và nhựa PLA. Nhựa ABS cứng rắn nhưng không giòn, cân bằng tốt giữa độ bền kéo, va đập, độ cứng bề mặt, độ rắn, độ chịu nhiệt các tính chất ở nhiệt độ thấp và các đặc tính về điện. Có tính chất đặc trưng là độ bền cơ học cao, độ cứng cao, khả năng chịu va đập không giảm nhanh ở nhiệt độ thấp, độ ổn định dưới tải trọng rất tốt, ABS chịu nhiệt tương đương hoặc tốt hơn Acetal, PC... ở nhiệt độ phòng. Nhiệt độ in của nhựa ABS khá cao từ 230⁰C trở lên. Nhựa PLA tương đối giòn, cơ tính thấp, nhưng sản phẩm in ra khá đẹp và đầy đủ chi tiết. Việc sử dụng nhựa PLA khó khăn vì nó giòn khi nó đã hạ nhiệt. Ngưỡng nhiệt độ của nó là thấp hơn so với ABS. Nhiệt độ in của PLA cũng tương đối thấp, tầm dưới 190⁰C. Trong nghiên cứu nhóm tác giả lựa chọn nhựa PLA để chế tạo các khâu của robot.

Chọn động cơ: Động cơ được chọn để chế tạo mô hình robot là động cơ RC Servo MG996 là phiên bản nâng cấp của MG995, là dòng RC servo thiên về tốc độ phản ứng nhanh và lực kéo mạnh, thường được sử dụng trong các thiết kế Robot: Xe dò line, cánh tay robot, humanoid robot, robot nhện,... Động cơ RC Servo MG996 (Hình 17) có lực kéo mạnh, cách khớp bánh răng được làm bằng kim loại lên có độ bền cao, động cơ được tính hợp sẵn driver điều khiển động cơ bên trong theo cơ chế phát xung - quay góc nên rất dễ sử dụng.



Hình 17. Động cơ RC Servo MG996 và phụ kiện

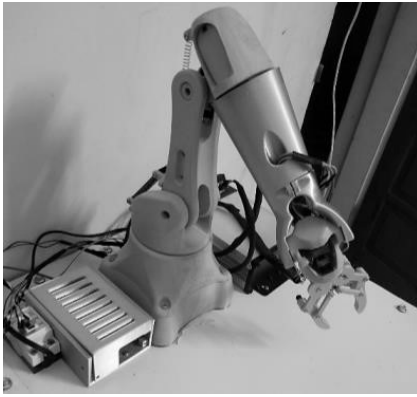
Chế tạo và lắp ráp robot.

Để in các chi tiết cho cánh tay robot, nhóm tác giả đã sử dụng máy in 3D có đầu vòi phun 0.4mm, các chi tiết được in với mật độ lấp đầy từ 15% (cho các chi tiết không chịu tải trọng lớn vừa để giảm khối lượng của chi tiết) tới 40% (cho các chi tiết chịu tải trọng lớn). Thời gian in cho mỗi chi tiết trung bình từ 3h-12h. Các chi tiết sau khi in có độ chính xác cao, đảm bảo thông số kích thước như trên bản vẽ.



Hình 18. Chế tạo các khâu của robot bằng công nghệ in 3D

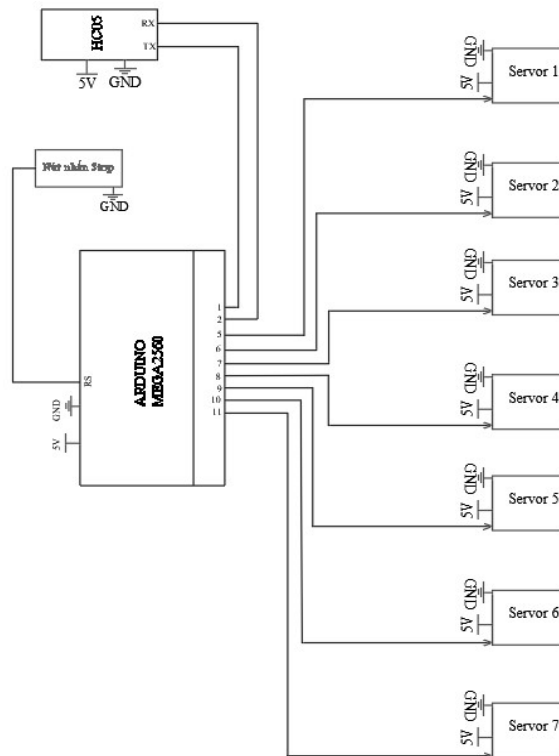
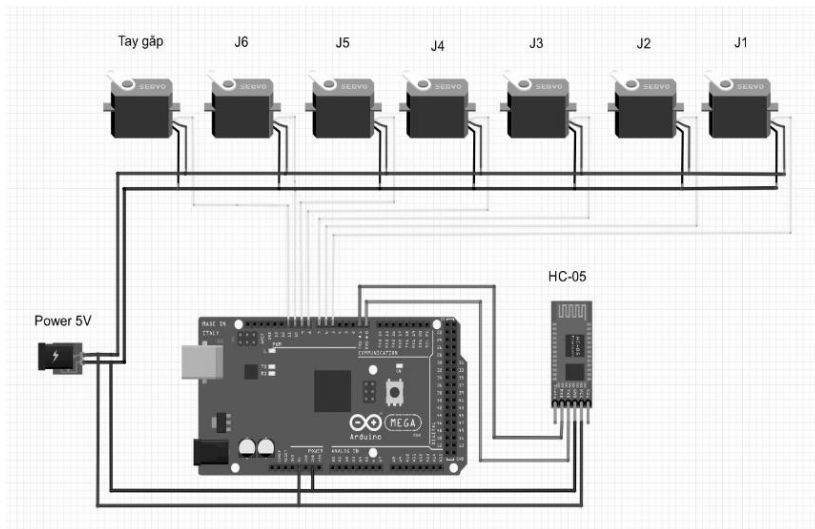
Sau khi chế tạo các kết cấu của robot, nhóm tác giả tiến hành lắp ráp các bộ phận lại với nhau và được mô hình robot như trong Hình 19.



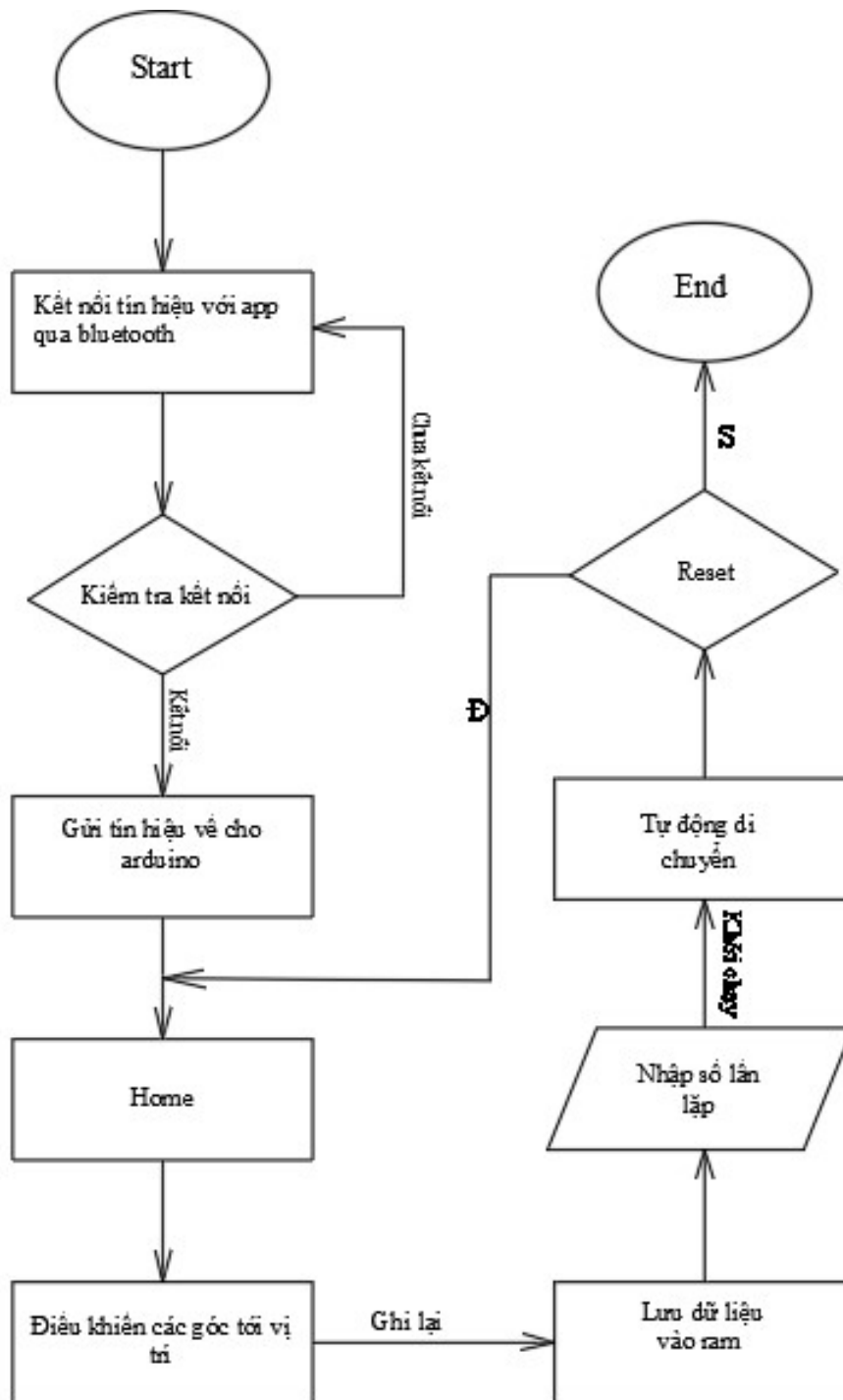
Hình 19. Robot sau khi đã lắp ráp hoàn thiện

3.4 Sơ đồ thuật toán và phương án đấu nối

Mô hình robot được thiết kế có thể điều khiển trực tiếp từ máy tính hoặc thông qua một phần mềm được thiết kế trên app điện thoại. Sơ đồ đấu nối thiết bị và thuật toán xây dựng có thể thực hiện được yêu cầu trên thể hiện trong các Hình 20 và Hình 21.



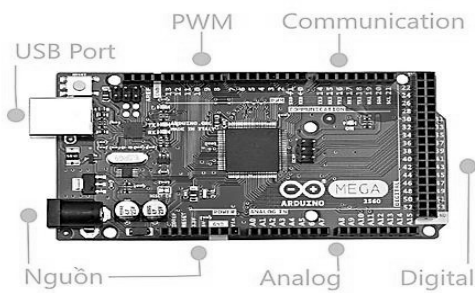
Hình 20. Sơ đồ nối mạch điều khiển cánh tay robot



Hình 21. Sơ đồ thuật toán điều khiển robot

Để điều khiển robot, nhóm tác giả đã sử dụng vi điều khiển Arduino AT Mega 2560 Hình 22. Vi điều khiển arduino mega 2560 sử dụng chip ATmega2560 của ATmel, bộ nhớ chương trình lên đến 256KB trong đó có 8KB được sử dụng bởi

bootloader. Dung lượng RAM là 8KB. 4KB EEPROM. Nhờ có bộ nhớ chương trình lớn nên vi điều khiển này có thể viết nhiều chương trình phức tạp, điều khiển được nhiều thiết bị và rất phù hợp với hướng nghiên cứu của nhóm tác giả.



Hình 22. Bo mạch Arduino Mega 2560 sử dụng vi điều khiển Atmega 2560

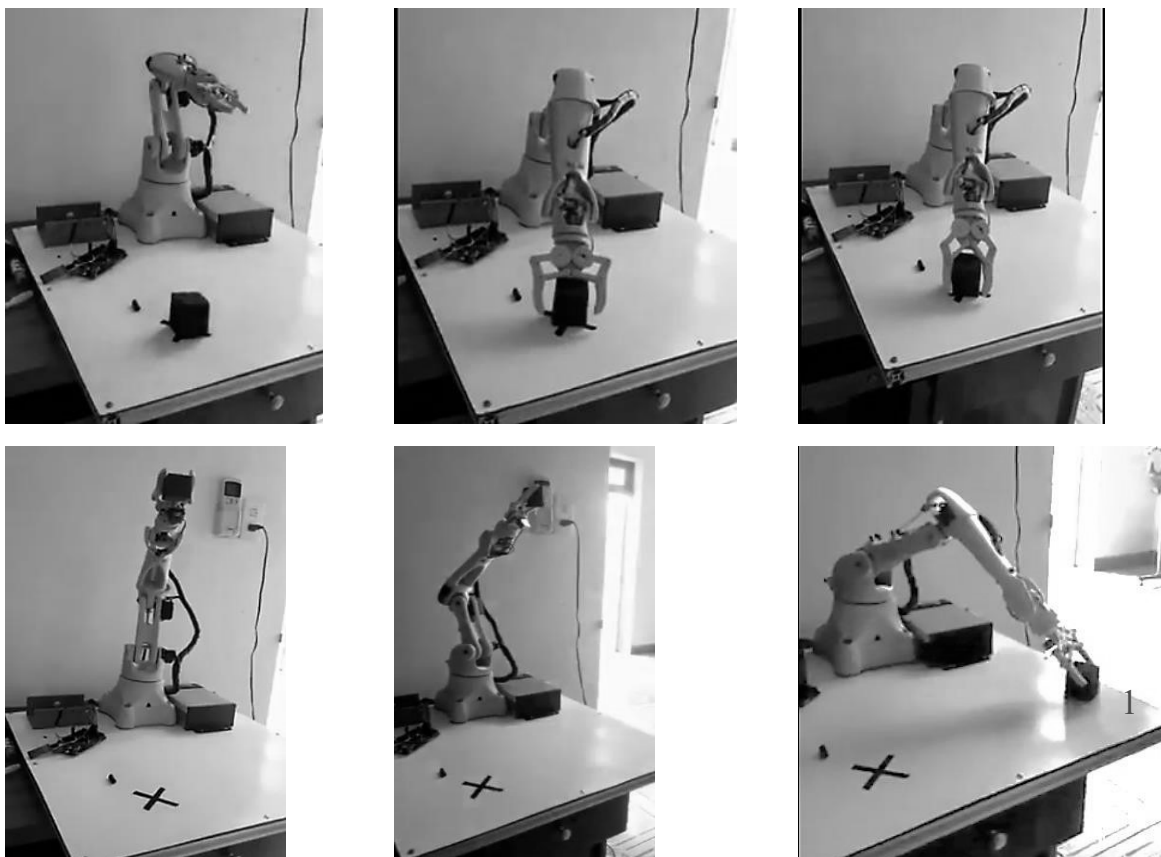
Sơ đồ nối dây Arduino và một mô-đun Bluetooth HC-05 để giao tiếp với điện thoại thông minh. Các chân điều khiển của sáu động cơ servo được kết nối với sáu chân kỹ thuật số của bảng Arduino. Để cấp nguồn cho các Servos, cần 5V, nhưng điều này phải đến từ nguồn điện bên ngoài vì Arduino không thể xử lý lượng dòng điện mà tất cả chúng có thể

rút ra. Nguồn điện phải có khả năng xử lý ít nhất 2A dòng điện.

4. THỰC NGHIỆM CHẠY THỬ MÔ HÌNH ROBOT

Sau khi mô hình robot 6 bậc tự do được chế tạo và lắp ráp hoàn chỉnh, nhóm tác giả đã tiến hành chạy thử nghiệm để kiểm tra các chuyển động của robot cũng như độ tin cậy của robot sau khi đã thiết kế và chế tạo.

Trước tiên, cho robot thực hiện riêng lẻ từng chuyển động của các khớp động (6 chuyển động) và chuyển động đóng mở bàn kẹp. Sau đó cho robot thực hiện gắp một vật từ một vị trí ban đầu sang một vị trí mới (thực hiện với 5 vị trí khác nhau).



Hình 23. Thực nghiệm kiểm tra các chuyển động của mô hình robot sau khi chế tạo

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm gấp vật của mô hình robot 6 bậc tự do

STT	Thực nghiệm	Kết quả
1	Vị trí 1	Đạt
2	Vị trí 2	Đạt
3	Vị trí 3	Đạt
4	Vị trí 4	Đạt
5	Vị trí 5	Đạt

Kết quả quá trình thử nghiệm cho thấy các chuyển động của robot đáp ứng đúng yêu cầu đề ra, cả 5 lần gấp và đặt sản phẩm đều đúng vị trí đã thiết lập.

5. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã trình bày một số kết quả nghiên cứu thiết kế và chế tạo mô hình robot 6 bậc tự do, sau khi thiết kế đã chế tạo thành công mô hình thực nghiệm theo thiết kế.

- Các khâu của robot 6 bậc tự do được chế tạo bằng công nghệ in 3D, một công nghệ tiên tiến và đang được ứng dụng rộng rãi hiện nay.

- Hệ thống điều khiển sử dụng mạch Arduino AT Mega 2560, có giá thành rẻ nhưng hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu thiết kế đề ra. Robot vận hành tốt theo yêu cầu.

- Mô hình robot 6 bậc tự do có thể ứng dụng trong giảng dạy, nghiên cứu trong các trường kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đại học Hải Phòng (2024), <https://dhhp.edu.vn/post/mo-ta-chuong-trinh-dao-tao-nganhcong-nghe-ky-thuat-co-dien-tu-38835.html>.

2. Nguyễn Trường Thịnh, (2014), *Kỹ thuật Robot*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.

3. Robotic (2022), *Cánh tay robot công nghiệp và những ứng dụng trong sản xuất*, <https://itgtechnology.vn/canh-tay-robot-cong-nghiep/>.

4. Vnatech (2022), *Robot bốc xếp hàng hóa tự động trong đời sống hiện nay*, <https://thegioiagv.com/robot-boc-xep-hang-hoa/>.

5. Kuka (2023), *Robot Công nghiệp của Kuka*, <https://www.kuka.com/vi-vn/san-pham/cac-hệ-thống-rô-bốt/rô-bốt-công-nghiệp>.

6. Nguyễn Mạnh Tiến (2007), *Điều khiển robot công nghiệp*, NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội.